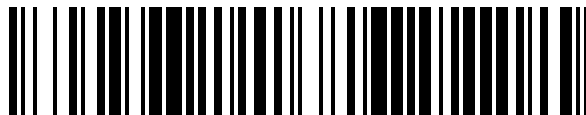


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 276 045**

21 Número de solicitud: 202131514

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44**

(2006.01)

12

## SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

**18.11.2019**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**04.08.2021**

71 Solicitantes:

**EQUIPOS NUCLEARES, S.A. (100.0%)  
Avda. Juan Carlos I, 8  
39600 MALIAÑO (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**LAAROSI, Ismail;  
LOPEZ HIGUERA, José Miguel;  
QUINTELA INCERA, Antonio;  
QUINTELA INCERA, M<sup>a</sup> Angeles;  
GOMEZ ESTEFANIA, Fernando;  
SARACHAGA GARCIA, Eduardo y  
LIMA ALMEIDA, Domingo**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR VILLATE, Ignacio**

54 Título: **Transductor distribuido y/o cuasi-distribuido de fibra óptica para altas temperaturas**

ES 1 276 045 U

## DESCRIPCIÓN

Transductor distribuido y/o cuasi-distribuido de fibra óptica para altas temperaturas

### 5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo de los dispositivos para la medida de altas temperaturas y, más concretamente, al campo de los transductores ópticos distribuidos y/o cuasi-distribuidos de fibra óptica para la media en entornos de muy altas temperaturas  
10 (temperaturas por encima de los 600°C) y otros entornos hostiles.

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Hoy en día la tecnología de sensado fotónico en general, y la basada en fibra óptica en particular, está experimentado un gran crecimiento y ha despertado un gran interés en  
15 muchas aplicaciones reales que se demandan en diversos campos de la industria.

Dadas las características únicas que ofrece el uso de la fibra óptica como sensor, se ha convertido en elemento esencial y de gran importancia en el monitoreo en tiempo real en  
20 grandes sectores industriales, como, por ejemplo, en los campos de petróleo y gas, en el monitoreo de tuberías y de cables de alta tensión, y en los sistemas de detección de incendios.

Las ventajas inherentes que ofrecen los sensores basados en fibra óptica, como por  
25 ejemplo, la total inmunidad a cualquier tipo de interferencias electromagnéticas, la alta sensibilidad y resolución, favorecen el uso de esta tecnología para monitorizar y/o predecir comportamiento en instalaciones o equipos industriales y la convierten en una buena alternativa para sustituir a los sensores convencionales para la medida de multitud de parámetros tales como, la temperatura, la presión, la deformación, la rotación, etc.

30 Adicionalmente, las bajas pérdidas de las fibras actuales permiten la detección remota a grandes distancias, lo que le da la capacidad de integrar un gran número de sensores convencionales o regiones de detección dentro de una sola fibra u ofrecer medidas a largas distancias de los puntos objeto de medida. En la actualidad, se pueden llegar a monitorizar  
35 decenas de kilómetros usando una sola fibra, lo que mejora significativamente la viabilidad comercial de los sensores basados en fibra óptica.

Con los avances logrados en la tecnología de sensado basado en fibra óptica, ha surgido la necesidad del desarrollo de cables de fibra óptica para ambientes hostiles donde se requiere la monitorización de estructuras con altas temperaturas (que pueden alcanzar los 550-  
5 600°C), radioactivas, corrosivas o de difícil y peligroso acceso.

El alto punto de fusión de las fibras ópticas les permite ser usadas como transductores en rangos de temperatura muy altos, pero como vienen protegidas con un recubrimiento de polímero para proporcionarles la protección mecánica necesaria contra los daños mecánicos  
10 que pueden sufrir durante su manipulación y de los factores ambientales durante su uso, limita su empleo a aplicaciones donde la temperatura máxima de funcionamiento no supera los 300°C o aplicaciones en los cuales la fibra no puede estar sometida a radiaciones nucleares o a productos químicos, ya que se puede dañar el polímero.

En estos casos, es necesario recurrir a fibras con recubrimientos especiales, normalmente metálicos, para ofrecer la protección necesaria en estos ambientes. Los recubrimientos de metal, además de soportar temperaturas por encima de los 300°C, crean una capa hermética que protege el núcleo de la fibra de la penetración de hidrogeno, evitando así  
15 aumentar de forma irreversible las pérdidas en la fibra, cuando ésta está sometida a ambientes con mucha presencia de hidrógeno y alta temperatura y/o presión. Asimismo, son  
20 resistentes a la radiación nuclear y a ciertos productos químicos.

Las fibras con recubrimiento metálico más usadas y que están disponibles actualmente en el mercado son: aluminio, cobre y oro. Este tipo de fibras pueden ser empleadas,  
25 teóricamente, en entornos con temperaturas cercanas al punto de fusión de cada metal. Sin embargo, existen algunas restricciones técnicas que limitan su rango de temperatura. Por ejemplo, en el caso de fibras recubiertas con aluminio, teniendo un punto de fusión en estado puro de unos 660°C aproximadamente, la temperatura máxima de funcionamiento tiene que ser menor que 400°C. Esto se debe a la reacción que se produce a temperaturas  
30 por encima de los 400°C entre el aluminio y las moléculas de sílice que componen la fibra, lo que provoca una degradación de las propiedades mecánicas y ópticas de la fibra a largo plazo.

Las fibras recubiertas con oro presentan una buena alternativa cuando se requiere  
35 monitorizar estructuras con temperaturas que superan el límite de las recubiertas con aluminio. Sin embargo, las variaciones dinámicas y no uniformes en el perfil de atenuación

de estas fibras (atribuidas principalmente a las microcurvaturas causadas por la mayor discrepancia de los coeficientes de expansión térmica entre el recubrimiento de oro y la fibra), su fragilidad y su difícil manejo las hacen inadecuadas para su uso en la mayoría de las aplicaciones industriales.

5

Por último, las fibras recubiertas con cobre tienen alto punto de fusión (1000°C aproximadamente) y a diferencia de las de aluminio y de oro, no reaccionan con la sílice y tampoco presentan perfiles no uniformes de la atenuación. Esto les convierte en una buena opción para la mayoría de las aplicaciones industriales. No obstante, el proceso de oxidación que sufren las fibras recubiertas de cobre en la superficie en presencia de oxígeno a altas temperaturas (a partir de los 300°C) provoca un deterioro de las propiedades mecánicas de las mismas. Algunos trabajos previos, como el que se describe en el documento EP3194346A1, han tratado de resolver este problema añadiendo otra capa de níquel en la superficie del recubrimiento de cobre. Sin embargo, con este método no se logran longitudes grandes y, además, la capa añadida provoca un incremento considerable en las pérdidas de la fibra y aumenta su estrés interno.

Se han presentado diversos trabajos para satisfacer la creciente demanda de este tipo de sensores en numerosas aplicaciones industriales, pero la mayoría se han limitado a escenarios de laboratorio altamente controlados. Por ejemplo, en algunos ensayos se han llevado a cabo medidas distribuidas de temperatura de hasta 1200°C, pero las fibras usadas en el experimento han perdido su recubrimiento y han quedado, por tanto, totalmente desprotegidas. En otros, se han realizado medidas distribuidas de temperatura en un rango amplio (de temperatura ambiente hasta 600°C) con una fibra recubierta de oro; aunque en este caso la fibra empleada sí que ha conservado su recubrimiento, los problemas que presentan este tipo de fibras (tal y como se ha mencionado anteriormente) y su fragilidad requiere de sistemas complejos para su uso en entornos reales. En todos estos trabajos, se deja sin atender los problemas relacionados con la protección de las fibras en el momento de desplegarla en entornos industriales extremos. En muchas de estas aplicaciones, la fibra no se puede usar sin protección, ya que puede sufrir daños irreversibles o incluso roturas que la dejarán inservible.

En este sentido, y con el objetivo de desarrollar sensores robustos y prácticos en entornos industriales extremos reales, en WO2015041923A1 se presenta un cable para alta temperatura, en el que la fibra se protege con fibra cerámica y un tubo exterior. Sin embargo, se ha observado que este tipo de fibras cerámicas pierde sus propiedades

mecánicas a medida que el cable se somete a ciclos de temperatura. Esto provoca un deterioro en la protección de la fibra en uso, que en muchas aplicaciones es de vital importancia.

5 El documento US5661246 describe un sensor de fibra óptica que se utiliza para medir desplazamientos promediados a largas distancias utilizando varillas de extensión que se ajustan a la temperatura de la estructura a medir y se mantienen en equilibrio térmico con esta estructura asegurando un contacto máximo y un buen blindaje térmico. Las fibras están protegidas contra productos químicos agresivos al recubrirlas con una capa delgada de  
10 oro. Las condiciones de contorno necesarias para el funcionamiento adecuado del sensor se cumplen mediante el uso de epoxi de alta temperatura para asegurar la fibra dentro de las camisas protectoras. La sensibilidad del sistema disminuye solo en un 30% cuando se cambia la temperatura ambiental de la temperatura ambiente a 1200° F. El sistema puede ser interrogado tanto en modo transmisión como en modo reflexión. En una realización  
15 preferida de la invención, una barra de extensión está firmemente conectada a un soporte; esta barra puede moverse con respecto a una guía que solo permite el movimiento de la barra en la dirección en la que se va a medir la tensión.

Por lo tanto, y por todo lo descrito anteriormente, se desprende la necesidad de diseño y  
20 desarrollo de nuevos cables de fibra óptica para dar soluciones a todos los problemas que surgen en la monitorización en ambientes hostiles y de muy alta temperatura (que puede superar los 600°C).

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

25 El cable de fibra óptica propuesto por la presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente. Más concretamente, trata de dar solución al monitoreo en tiempo real de estructuras en escenarios industriales hostiles (con temperaturas que pueden superar los 600°C, con presiones de trabajo altas, corrosivos,  
30 etc.).

Fundamentalmente, el cable transductor propuesto consiste en una fibra recubierta de cobre, protegida frente a los posibles daños mecánicos por dos tubos (Fig. 1) y un sistema para evitar el proceso de oxidación en su superficie (Fig. 4). Con el diseño propuesto aquí,  
35 se evita que la fibra óptica entre en contacto con el oxígeno durante la realización de las medidas, sobre todo cuando se llevan a cabo en ambientes con muy alta temperatura y/o

presión. Esto evita la oxidación de la superficie del cobre y, por lo tanto, se evitan posibles daños irreversibles en la fibra.

Con este diseño y con la unidad de interrogación adecuada, se pueden llevar a cabo todas las medidas que se pueden realizar tradicionalmente con las fibras ópticas (temperatura, presión, vibraciones, etc.), pero con la ventaja de poder realizarlas en ambientes de temperaturas muy altas (incluso por encima de los 600°C), con radiaciones nucleares o bajo la presencia de ciertos productos químicos.

El sistema sensor de la invención, no tiene ningún precedente, ya que, a diferencia de otras publicaciones o patentes, permite la realización de todas las medidas que se llevan a cabo tradicionalmente con las fibras ópticas (temperatura, presión, vibraciones, etc.) en ambientes con temperaturas que pueden alcanzar valores cercanos al punto de fusión del cobre, lo que le da una gran aplicabilidad en muchos escenarios industriales.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La Fig. 1 muestra un esquema del cable transductor de fibra óptica con recubrimiento de cobre (1), un tubo interior (2) y un tubo exterior (3).

La Fig. 2 muestra un corte transversal de dicho cable transductor, realizado por el plano A-A' señalado en la Fig. 1

La Fig. 3 muestra el cable transductor y las cajas de las terminaciones del cable.

La Fig. 4 muestra el montaje realizado para verificar la fiabilidad del sistema sensor.

La Fig. 5 muestra los resultados obtenidos con el montaje de la Fig. 4.

La Fig. 6 muestra una comparación entre los resultados obtenidos y los recogidos por un termopar.

En estos dibujos se han utilizado las siguientes marcas de referencia:

- 1. Fibra óptica recubierta de cobre.
- 5      2. Tubo interior.
- 3. Tubo exterior.
- 4. Conector
- 5. Caja.
- 6. Entradas para sacar e introducir gases.
- 10     7. Entradas para la conexión óptica.
- 8. Fibra multimodo estándar.
- 9. Unidad de interrogación.
- 10. Bomba de vacío.
- 11. Bombona nitrógeno.
- 15     CT. Cable transductor

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido  
20     excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas,  
aditivos, componentes o pasos.

Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben  
entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que  
25     por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total  
exactitud.

Además, en el contexto de la presente invención se entiende por alta temperatura,  
temperaturas por encima de los 350°C. Además, se entiende por muy alta temperatura,  
30     temperaturas por encima de los 600°C.

Las características del dispositivo de la invención, así como las ventajas derivadas de las  
mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia a los  
dibujos antes enumerados.

35     Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende

que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

5

A continuación, se describe el dispositivo de la invención basado en fibra óptica para la medida de temperaturas que superan los 600°C, de acuerdo con el esquema del mismo de la Fig. 3. Este dispositivo permite el uso de cables de fibra óptica en ambientes hostiles y de muy alta temperatura y/o presión, y que pueden ser, además, eléctrica o electromagnéticamente contaminados.

10

El dispositivo comprende un elemento óptico transductor (CT), consistente en una fibra óptica recubierta de cobre (1). El uso de este tipo de fibra óptica permite soportar las altas temperaturas y mantener la fibra protegida ya que, y a diferencia de los recubrimientos de polímero que desaparecen a estas temperaturas, las fibras con recubrimiento metálico disponibles comercialmente (aluminio, oro y cobre) mantienen su cubierta, permitiendo así ser usadas repetidamente. Además, el cobre, al contrario del aluminio, no reacciona con la sílice y las fibras recubiertas con este metal, a diferencia de las recubiertas de oro, presentan un perfil de atenuación muy uniforme e invariante con la temperatura.

15

20

El dispositivo de la invención comprende además al menos un tubo (2) colocado, preferiblemente, de forma concéntrica a la fibra óptica (1) empleada y configurados para protegerla y dar mayor resistencia mecánica al cable; preferentemente dos tubos concéntricos (2,3) como se detalla a continuación.

25

Cuando el cable transductor (CT) se instala en la estructura a monitorizar de forma fija, en la que el cable no se mueve en toda su vida útil sería suficiente con disponer de un único tubo (2) protegiendo la fibra óptica (1). Sin embargo, si el cable transductor (CT) se va a emplear para monitorizar varias estructuras o la misma estructura en distintos tiempos o lugares, lo que implica colocarlo y quitarlo varias veces no es recomendable usar un solo tubo ya que podrían aparecer pequeñas curvaturas que podrían llegar a dañar la fibra; por este motivo, en una realización preferencial se utilizan dos tubos (2, 3), para proporcionar mayor resistencia mecánica al cable transductor (CT) y mayor protección a la fibra (1), evitando así la formación de curvaturas en el tubo interior (2).

30

35

El tubo más exterior (3) debe ser hermético, para poder realizar los procesos de vaciado e



introducción de los gases. Su longitud tiene que ser suficiente para cubrir toda la longitud de la fibra que estará expuesta a altas temperaturas y su diámetro interno varía en función de del tubo interior (2) que contiene. Además, tiene que soportar al menos la temperatura máxima de operación de la fibra que se va a usar. El tubo exterior (3) tiene que estar situado  
5 preferiblemente de manera concéntrica a la fibra (1) y al tubo interior (2).

El tubo interior (2) debe tener una longitud mínima para cubrir toda la longitud de la fibra que estará expuesta a altas temperaturas, un diámetro interno mínimo ligeramente mayor que el diámetro de la fibra (1) a usar y un diámetro externo menor que el diámetro interno del tubo exterior (3). Asimismo, y como en el caso del tubo exterior, debe soportar las temperaturas a  
10 las que estará la fibra sometida.

El tubo interior (2), además de proteger la fibra, hace funciones de enlace mecánico entre la fibra óptica recubierta con cobre (1) y el tubo más exterior (3) para, así, evitar el movimiento relativo entre la fibra (1) y dicho tubo (3). También puede servir para realizar las conexiones internas entre el transductor (CT) y las cajas (5) de las terminales del mismo, que se detallarán más adelante. Dicho tubo interior (2) se une preferiblemente, por un lado, en sus extremos al tubo exterior (3) a través de un conector que tiene dos agujeros pasantes y por otro lado a un soporte dentro de las cajas (5).  
15

Los tubos (2, 3) deben ser de materiales resistentes a la corrosión y/o soportar las altas temperaturas a las que estará sometida la fibra (1), por ejemplo, de acero inoxidable. Además, preferentemente los tubos deben ser flexibles, con el objetivo de poder adaptarlos a los distintos escenarios en los que el cable puede ser usado.  
20

Es muy recomendable colocar protección en los extremos del cable interior para evitar el roce de la fibra con los extremos de dichos tubos y evitar así una posible rotura de la fibra. Por ejemplo, se puede colocar tubos termorretráctiles en las entradas del tubo interior (2) como protección, si los extremos del tubo no van a estar sometidos a alta temperatura.  
25

Al menos en uno de los extremos del cable transductor (CT) se sitúa una caja (5) que sirve para realizar las conexiones y las fusiones necesarias entre la fibra recubierta de metal y un cordón de fibra que une el cable con una unidad de interrogación. Al igual que los tubos (2, 3), esta caja (5) tiene que ser hermética. Además, si uno o los dos extremos del cable pueden estar sometidos a altas temperaturas, debe ser de materiales que soporten dichas temperaturas. El otro extremo, o bien incorpora otra caja (5) equivalente, o bien se deberá  
30  
35

sellar por cualquier otro medio.

5 Sin embargo, algunas medidas requieren de los dos extremos (por ejemplo, el uso del efecto Brillouin para la medida o usar el efecto Raman en la configuración de doble extremo), por este motivo, en una realización preferencial se colocan sendas cajas (5) en ambos extremos del cable transductor (CT). Las conexiones de ambas cajas (5) con el cable (CT) se han de sellar herméticamente para no permitir el paso del aire.

10 Una de las dos terminaciones, ha de disponer de aberturas para la realización de las conexiones ópticas (7) y para introducir y sacar los gases (6) del cable.

15 Para poner en funcionamiento el sistema, primero hay que realizar el vacío mediante un elemento de vacío, por ejemplo, una bomba de vacío. Una vez asegurado que el cable de fibra óptica está totalmente vacío, se introduce algún gas inerte con una presión ligeramente más alta que la atmosférica para impedir la penetración del aire en el tubo.

20 Con la ausencia del aire en el cable transductor (CT), que ha sido sustituido por el gas inerte a presión más alta que la atmosférica, se evita la oxidación de la fibra recubierta de cobre cuando se somete a altas temperaturas, pudiendo así aumentar el rango de temperatura de funcionamiento de estas fibras sin sufrir oxidación y, por lo tanto, deterioro en sus propiedades físicas.

25 Otra alternativa para evitar la penetración del aire dentro del cable transductor (CT) es mantener un flujo constante del gas inerte a usar, con una presión más alta que la atmosférica, dentro del cable. En este caso, hay que disponer de una entrada para el gas (6) y su correspondiente salida (6), en las que se colocan sistemas para regular la presión dentro del cable, por ejemplo, manómetros.

30 También se puede evitar la oxidación de la fibra recubierta de cobre, solo con el vacío, sin la necesidad de introducir gas inerte dentro del cable. En este caso, ha de asegurarse el vacío total, asegurando en todo el tiempo la ausencia de oxígeno dentro del cable.

35 Aunque se considera que se ha descrito suficientemente la invención, a continuación, se muestra un ejemplo concreto de realización de la invención y los resultados obtenidos. El sistema de la invención está compuesto por los siguientes elementos:

El dispositivo comprende una fibra óptica (1) multimodo con diámetros de núcleo y de cubierta de 50  $\mu\text{m}$  y 125  $\mu\text{m}$  respectivamente. La fibra es de índice gradual con núcleo de sílice puro y con una cubierta de cobre con un diámetro de 165  $\mu\text{m}$ .

- 5 El dispositivo de la invención comprende además dos tubos: un tubo interior (2) y un tubo exterior (3), estando el tubo interior (2) alojado en el interior del tubo exterior (3), y a su vez, estando la fibra óptica (1) alojada en el interior del tubo interior (2). En su fabricación, primero se introduce el tubo interior en el exterior y, continuación, y con los dos tubos completamente estirados, se introduce la fibra recubierta con cobre.

10

El tubo interior (2) es un tubo capilar de acero inoxidable (AISI-316) de diámetros interior y exterior de 2.17 y 3.17 mm respectivamente. Tiene una pared de 0.5mm y una presión de trabajo de 188 kg/cm<sup>2</sup>.

- 15 El tubo exterior (3) es un tubo corrugado de acero inoxidable con trenza metálica (AISI-316) con diámetros interior y exterior de 6 mm y 11 mm respectivamente.

Ambos tubos (2, 3) son flexibles, pero con la rigidez suficiente como para que, al doblar el cable transductor, nunca se alcance el radio mínimo permitido de curvatura de la fibra recubierta con cobre (1) (25 mm para largos periodos de tiempo).

20

En cada extremo del tubo exterior se sitúa un conector (4) que se engancha al cable por un lado y permite la conexión a la tapa de la caja (5) de acero inoxidable por el otro. En el lado donde se sujeta el cable (1), el conector (4) tiene un agujero pasante que permite unir el tubo por su extremo. Y por el otro lado, el conector (4) posee una rosca que le permite la conexión a la tapa de las dos cajas (5) de acero inoxidable.

25

Las cajas (5) en las terminaciones del cable transductor (CT), se diseñan y se mecanizan, convenientemente, mediante cualquiera de los procedimientos posibles (fresado, láser u otros).

30

En una de las dos cajas (5) de acero inoxidable, se disponen tres entradas: La primera es para realizar la conexión óptica (7) entre la fibra recubierta con cobre (1) dentro del cable transductor (CT) y la fibra multimodo estándar (8), que sirve como enlace entre el cable y la unidad de interrogación (9).

35

La segunda entrada (6) se conecta a una bomba de vacío (10) y la última (6) a una bombona

de nitrógeno (11). Mediante la bomba de vacío (10), se hace el vacío dentro del cable y usando la bombona (11) se introduce nitrógeno. Antes de empezar las medidas, se realiza la operación de vaciado e introducción de nitrógeno y se efectúa esta acción varias veces, hasta asegurar una atmósfera inerte dentro del cable (CT). Además, se coloca un manómetro entre la bombona y la caja para mantener una presión ligeramente más alta que la atmosférica. De este modo, y en el caso de que existan fugas de nitrógeno en el cable durante las medidas, éste se repone a través de la bombona (11).

Todas las entradas de las cajas (5), las roscas de las tapas y los agujeros de los conectores (4) se sellan correctamente para obtener un sistema completamente hermético, para que así se disminuye el consumo de nitrógeno.

Con el fin de verificar la viabilidad y la fiabilidad del sistema sensor propuesto en esta invención, el cable transductor (CT) ha sido diseñado, fabricado y caracterizado para medir temperaturas de hasta 700°C en un horno industrial. La Fig.4 muestra el montaje realizado para llevar a cabo las medidas, donde se ha utilizado una unidad de interrogación (9) basada en el efecto Raman en fibra óptica para la medida distribuida de temperatura.

Entre la unidad (9) y el cable transductor (CT), se ha colocado un cordón de fibra de 20 m y 253 m de una fibra multimodo estándar (8) para facilitar el acceso al cable. Para la realización se han programado dos ciclos de temperatura, tal y como muestra la siguiente tabla.

	Ciclo I				Ciclo II			
	I	II	III	IV	IV	II	III	IV
Temperatura	Ambiente	650°C	200°C	650°C	Ambiente	Ambiente	700°C	Ambiente

En total, la unidad ha estado midiendo 7 días consecutivos para llevar a cabo la medida de dichos ciclos.

Se ha programado la unidad (9) para realizar medidas con una duración de 60 s cada una y 10 minutos entre dos medidas consecutivas. La resolución espacial empleada ha sido de 0.5 m. La Fig. 5a muestra los resultados obtenidos en todo el canal (cordón de fibra + fibra multimodo estándar + cable sensor diseñado) y la Fig. 5b muestra solo el tramo del cable que ha sido introducido dentro del horno.

Con el objetivo de comparar las medidas realizadas con el cable diseñado, con la temperatura a la que está sometido, se ha colocado un termopar en la superficie del cable. La Fig. 6 muestra una comparación entre los datos recogidos por el termopar y la media del tramo del

cable sometido a los dos ciclos de temperatura.

## REIVINDICACIONES

1.- Transductor distribuido y/o cuasi-distribuido de fibra óptica para altas temperaturas, **que comprende:**

- 5        a) un cable transductor (CT), constituido por una porción de fibra óptica recubierta de cobre (1); y al menos un tubo hermético que aloja en su interior dicha porción de fibra óptica recubierta de cobre (1);
- b) unos medios de cierre hermético de los extremos del cable transductor (CT), y
- 10        c) unos medios para realizar el vacío en el interior del cable transductor (CT) y opcionalmente para llenarlo posteriormente con un gas inerte.

2.- Transductor, según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el cable transductor (CT) incluye:

- 15        - un primer tubo (2), alojado en el interior de un segundo tubo exterior (3), que a su vez aloja en su interior la fibra óptica recubierta de cobre (1); y
- un tubo exterior (3), que aloja en su interior el tubo interior (2).

3.- Transductor, según la reivindicación 1, **caracterizado** por que los medios de cierre hermético y para realizar el vacío en el interior del cable transductor (CT) comprenden:

- 20        - un conector (4) que engancha al cable transductor (CT) por un lado y que por el otro permite la conexión a una caja (5);
- una caja hermética (5) que dispone de al menos dos entradas:
- 25            • una primera entrada (7) para realizar la conexión óptica entre la fibra recubierta con cobre (1) incluida dentro del cable transductor (CT) y la fibra estándar (8), que sirve como enlace entre el cable (CT) y una unidad de interrogación (9) del transductor; y
- al menos una entrada (6), que se conecta a una bomba de vacío (10), y opcionalmente a una bombona de gas inerte (11) a través de la que se introduce gas dentro del cable transductor (CT), después de haber hecho el vacío correspondiente.

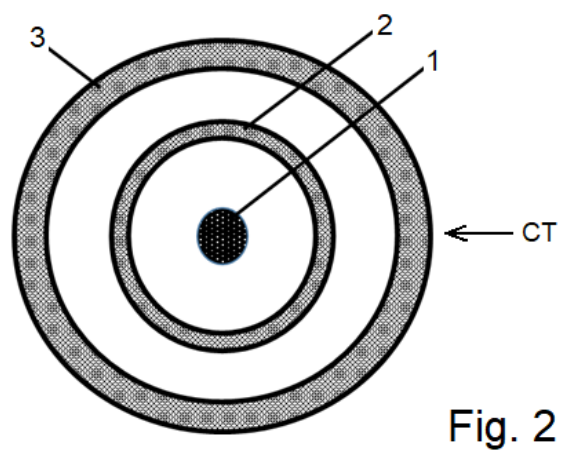
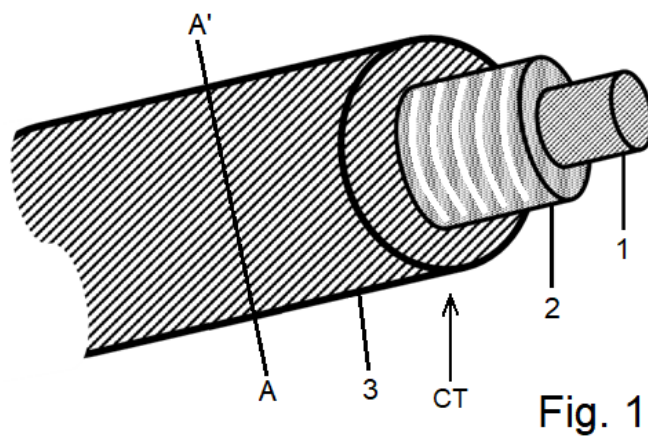
30        4.- Transductor, según la reivindicación 2, **caracterizado** por que el primer tubo (2) que reviste la fibra óptica (1) incluida en el cable transductor (CT) es un tubo capilar de acero inoxidable, flexible, pero sin llegar a alcanzar el radio mínimo permitido de curvatura de la fibra recubierta con cobre (1).

35        5.- Transductor, según la reivindicación 2, **caracterizado** por que el tubo exterior (3), que

aloja en su interior el tubo interior (2), es un tubo corrugado de acero inoxidable con trenza metálica, hermético y flexible, pero sin llegar a alcanzar el radio mínimo permitido de curvatura de la fibra recubierta con cobre (1).

5 6.- Transductor, según la reivindicación 3, **caracterizado** por que los medios de cierre hermético de los extremos del cable transductor (CT) incluyen en ambos extremos un conector (4) que engancha al cable transductor (CT) por un lado y que por el otro permite la conexión a una caja (5), la cual dispone de entradas para realizar la conexión óptica entre la fibra recubierta con cobre (1) incluida dentro del cable transductor (CT) y para conectar a una  
10 bomba de vacío (10) y opcionalmente a una bombona de gas inerte (11) para llenar el cable transductor (CT).

7.- Transductor, según la reivindicación 6, **caracterizado** por que la caja (5) de al menos uno de los extremos del cable transductor (CT) presenta dos entradas (6) independientes para  
15 conectar en una de ellas una bomba de vacío (10) y en la otra una bombona de gas inerte (11) para llenar el cable transductor (CT) con dicho gas una vez efectuado el vacío.





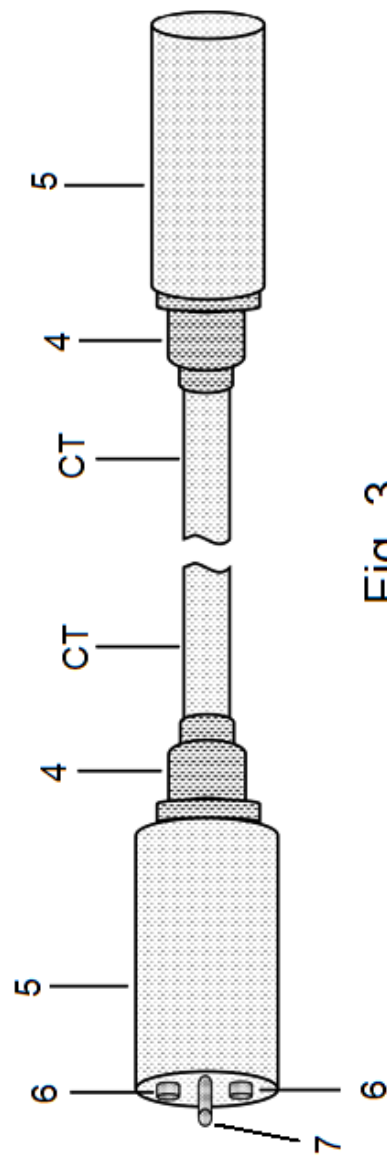


Fig. 3

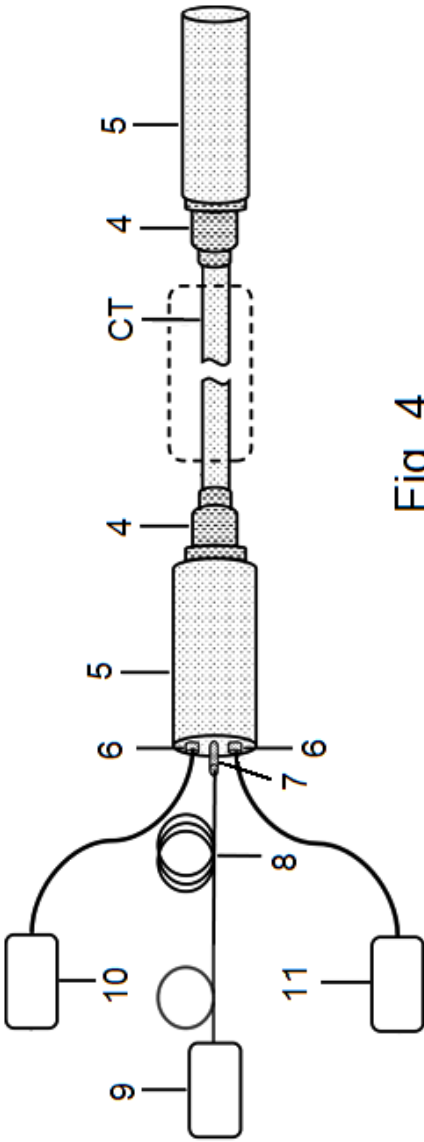


Fig. 4

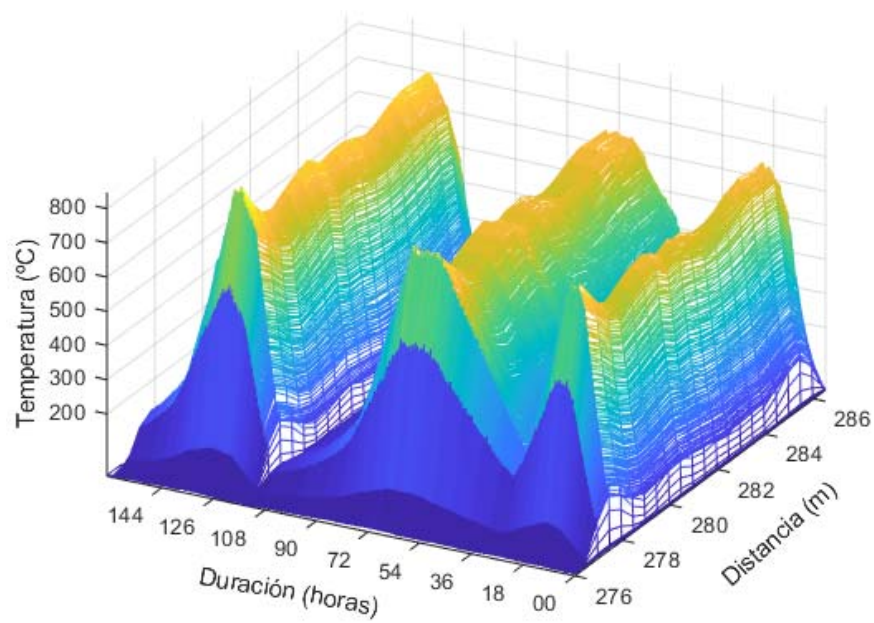


Fig. 5a

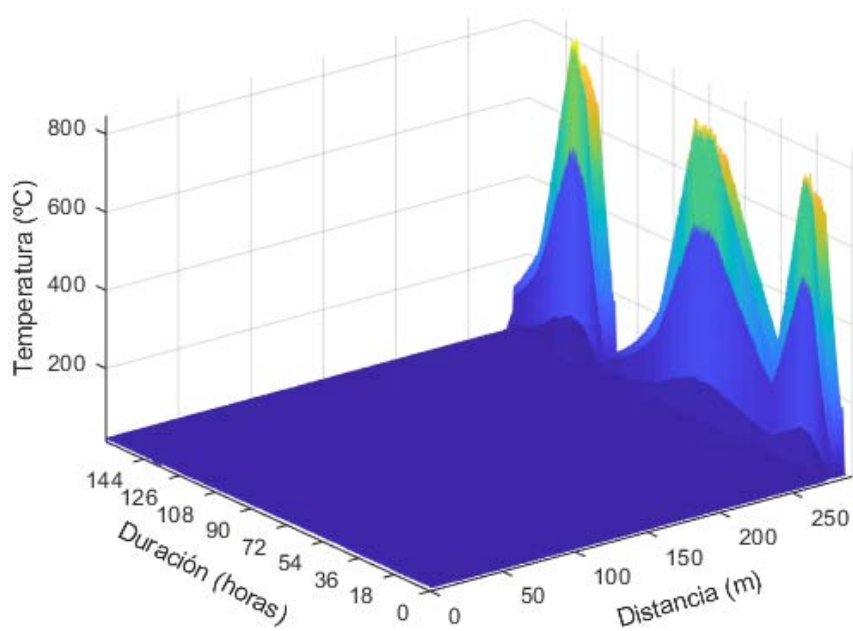


Fig. 5b

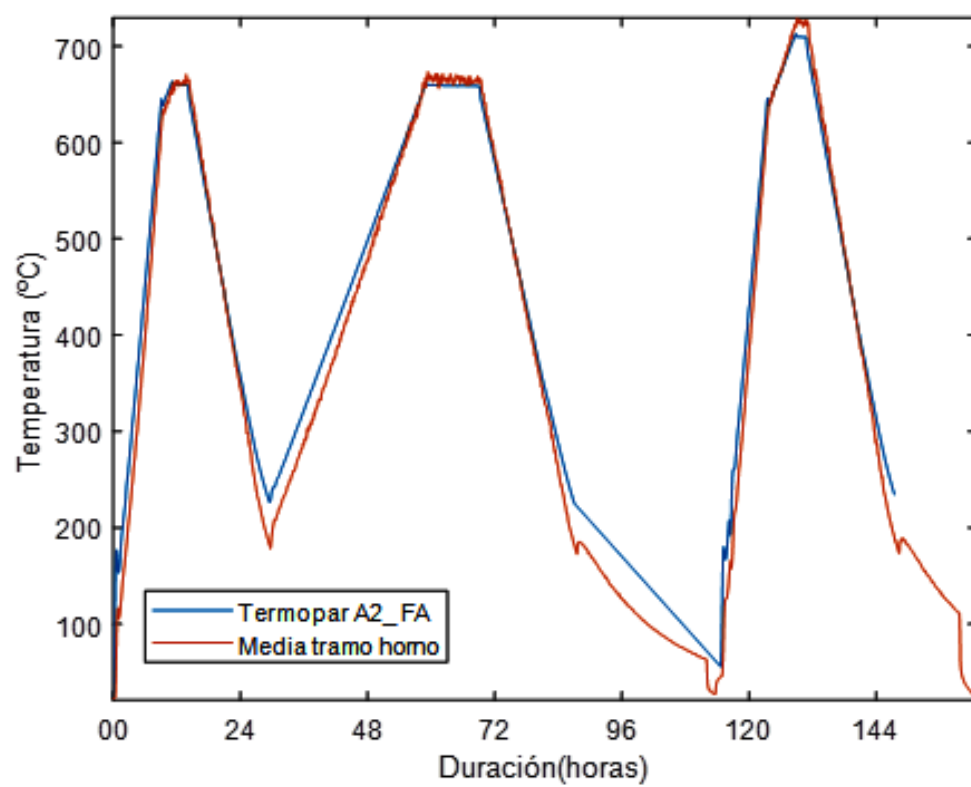


Fig. 6